

# Sustainability Circle Impulstalk

02.03.2022

Bio-Werkstoffe  
in a Nutshell



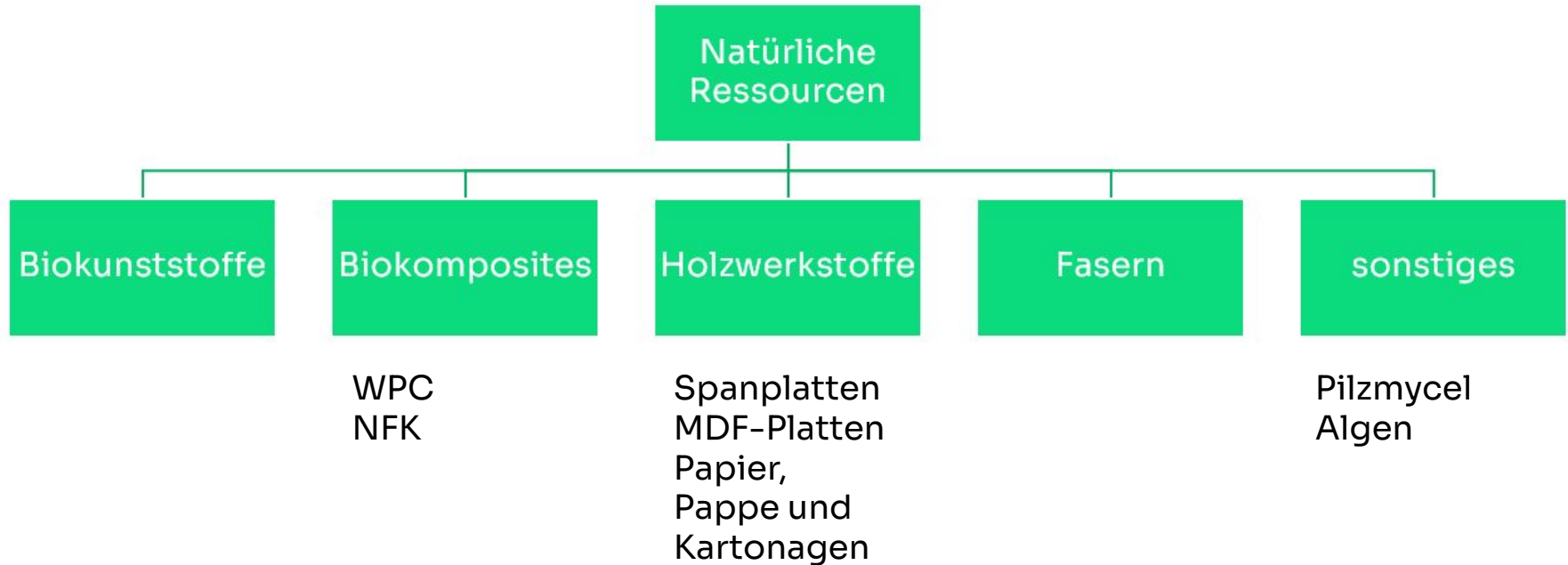
# Bio-Werkstoffe



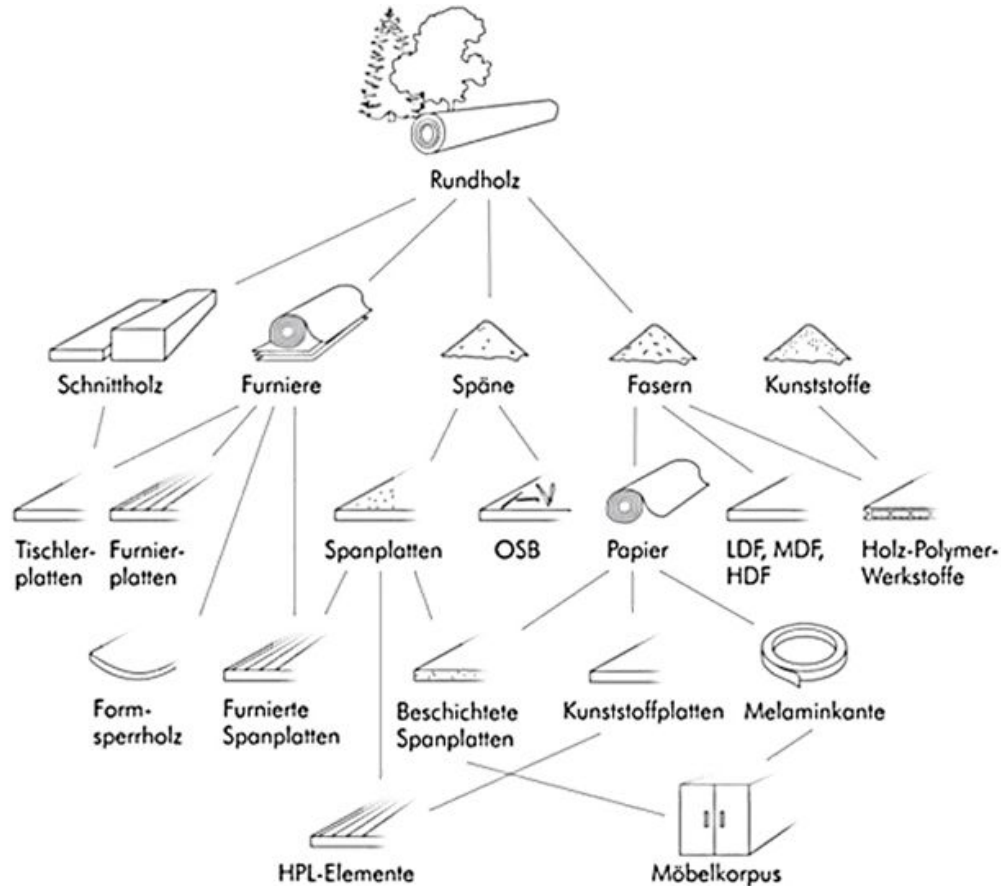
# Bio-Werkstoffe für die industrielle Nutzung

Biowerkstoffe:

Werkstoffe vollständig oder auch teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen.



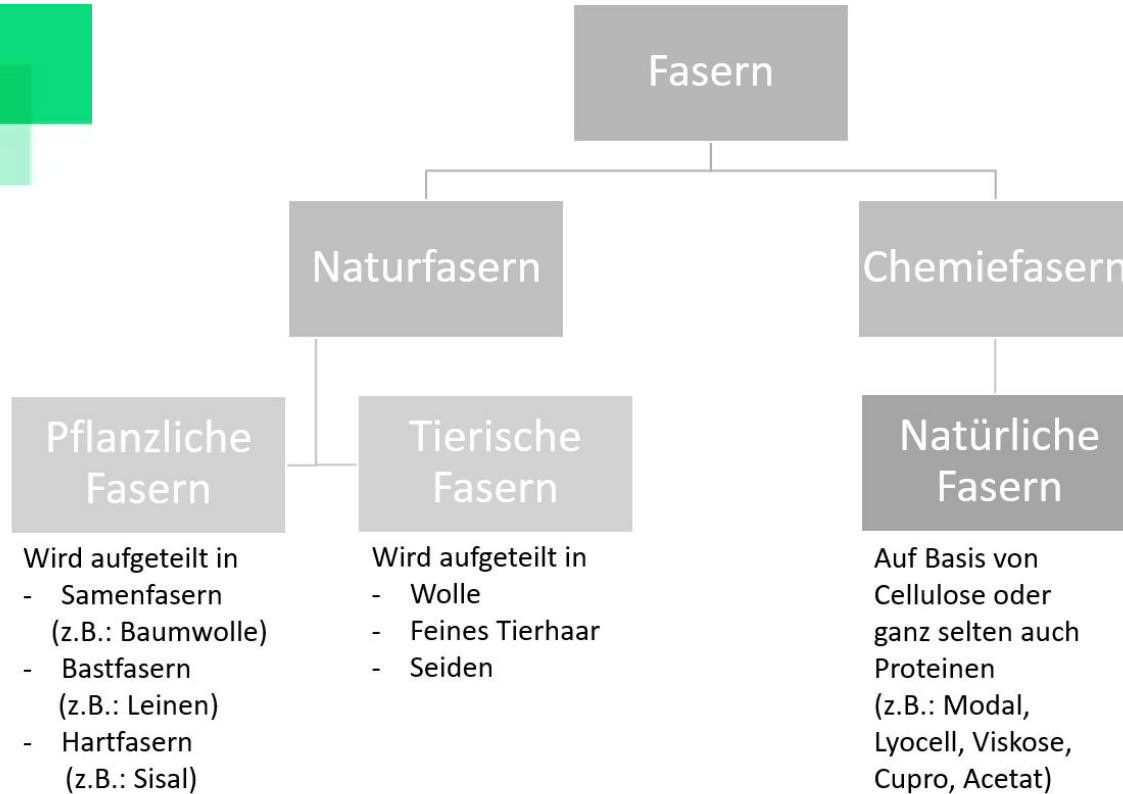
# Bio-Werkstoff - Holz



vom Rundholz

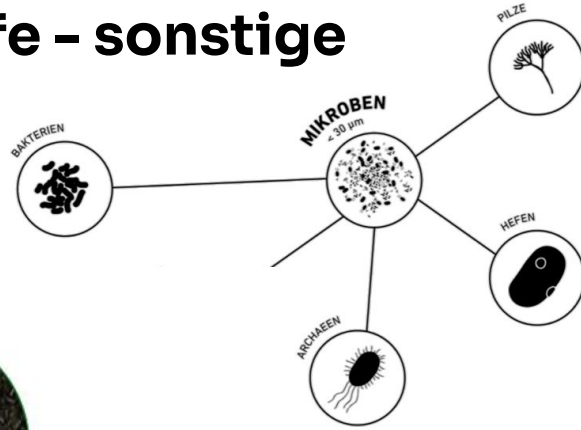
bis zum Möbelstück,  
Papier

# Bio-Werkstoff – Fasern





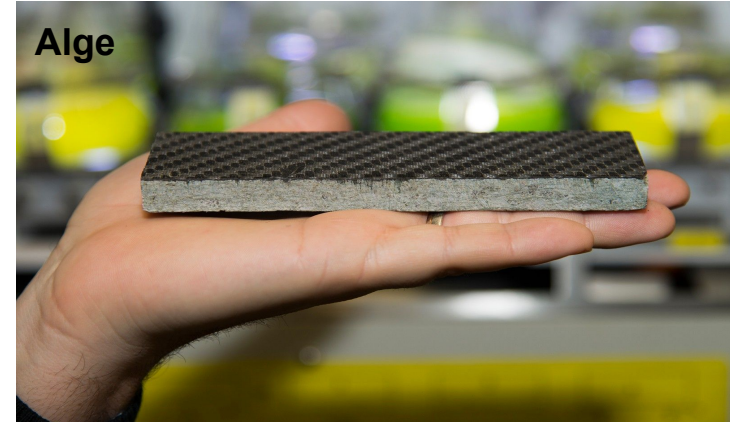
# Bio-Werkstoffe - sonstige



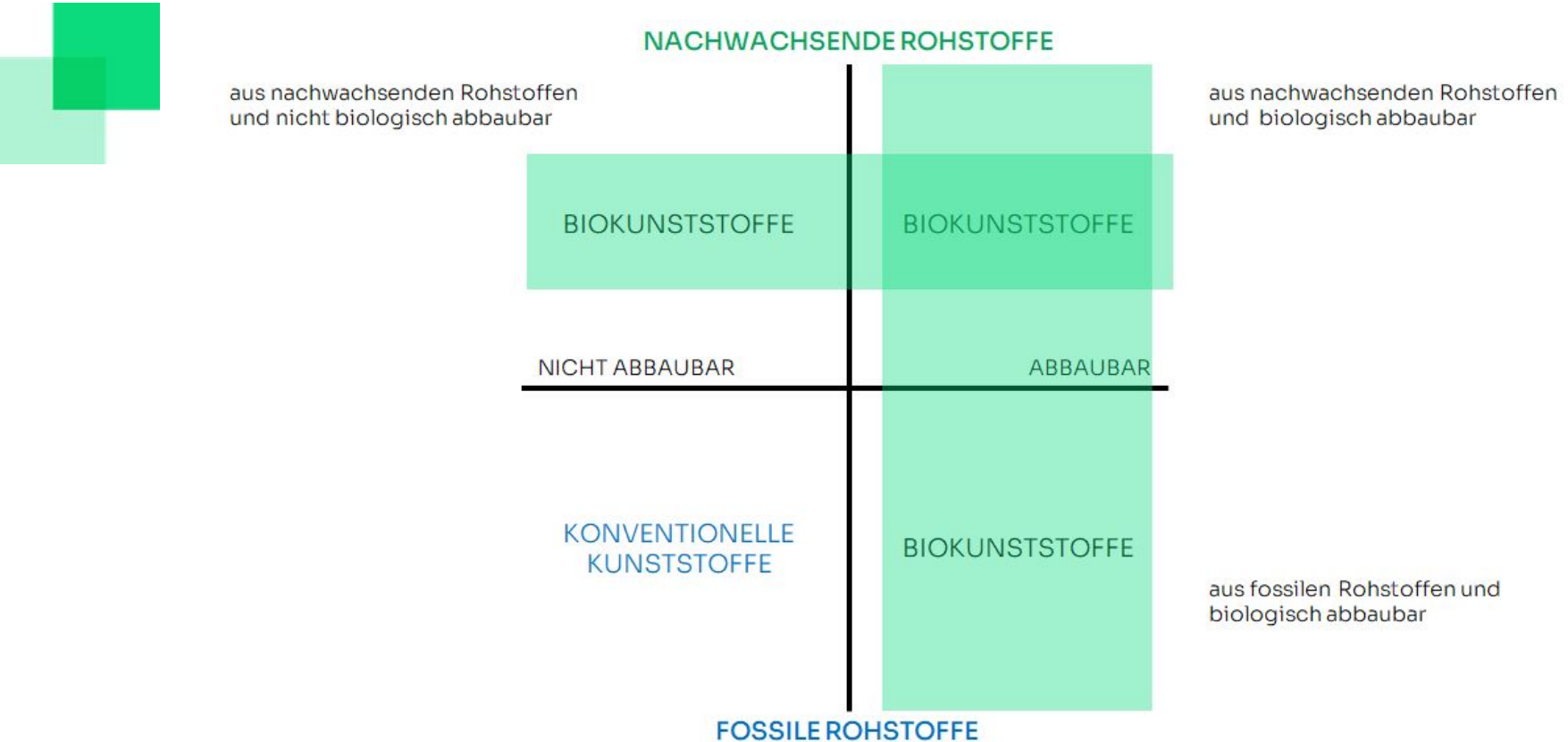
Pilzmycel



Alge

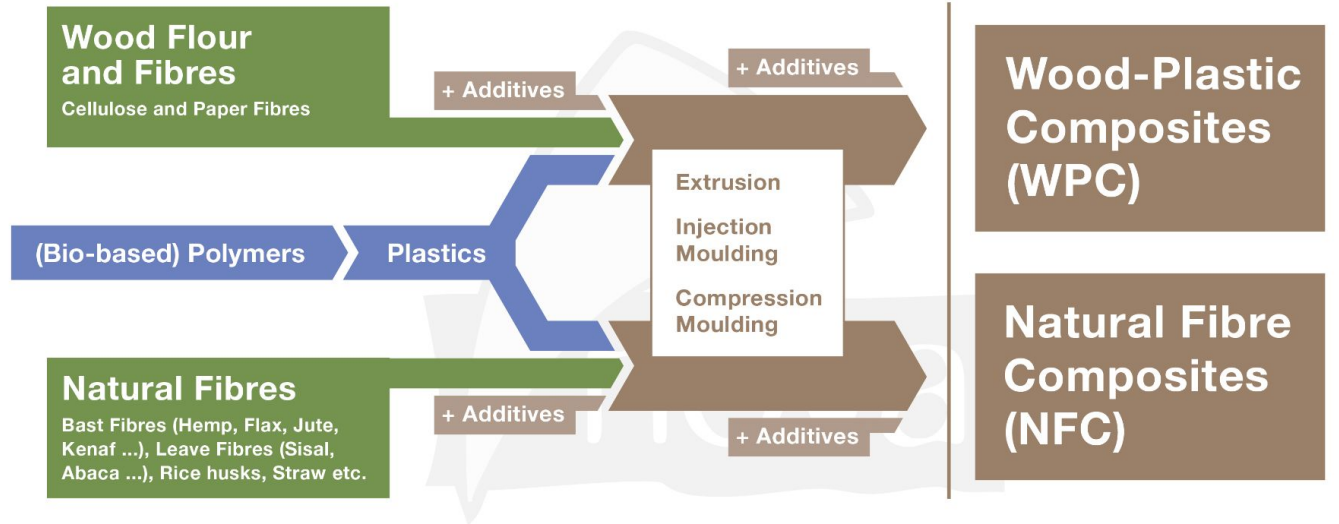


# Bio-Werkstoff – Biokunststoffe!



# Bio-Werkstoffe als Biokomposites!

## BIOCOMPOSITES





# Bio-Werkstoffe an Ihrem Produkt?



# Biowerkstoffe für die industrielle Nutzung



Gehäuse u.Ä. - harte Kunststoffe

PLA mit Schlagzäh-Additiven? Nukleierung zur Erhöhung der HDT?

TPS zum Drücken des Preises?

UV-Stabilisierung durch Kaffeepulver aus Kaffeesatz?

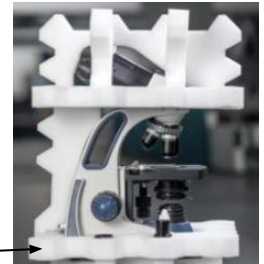
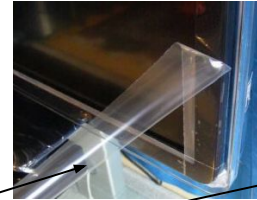
Flexible Verpackungen und Schutzprodukte

PBS oder PBAT als PE Alternative?

Weichgemachtes PLA?

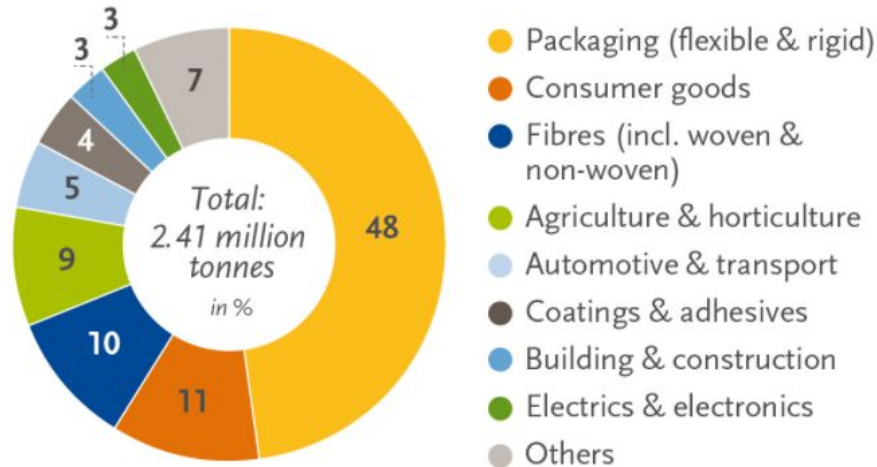
Natürliche Haftklebstoffe aus Harzen?

Geschäumte Biokunststoffe?



# Biowerkstoffe – aktuell

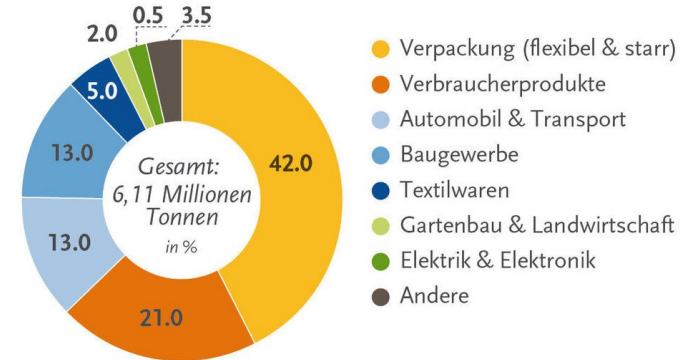
## Global production capacities of bioplastics in 2021 (by market segment)



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021). More information:  
[www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

## Vorhersage: 2016

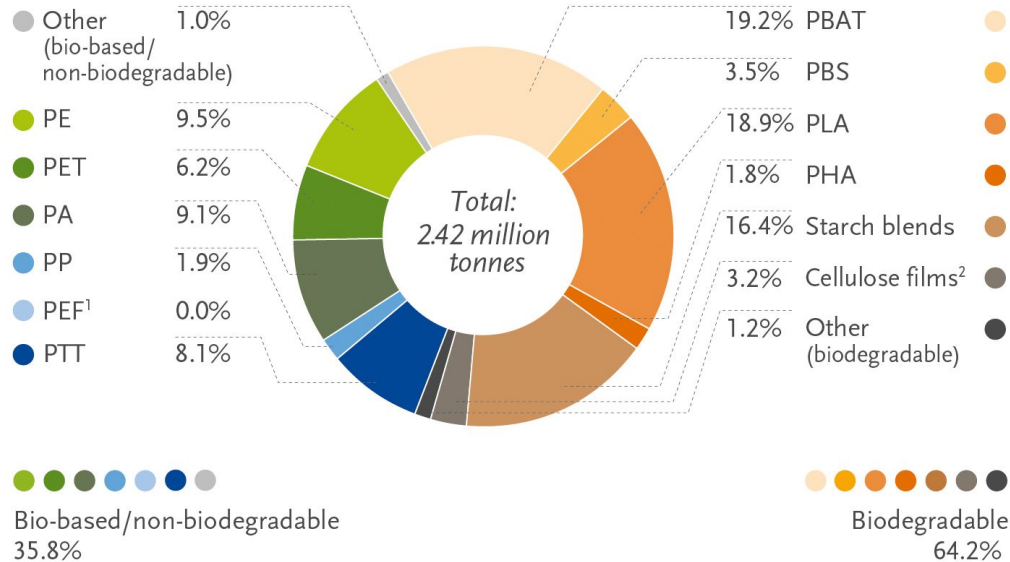
## Weltweite Produktionskapazitäten für Biokunststoffe 2021 (nach Marktsegment)



Quelle: European Bioplastics, nova-Institut (2016). Mehr Informationen:  
[www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets) und [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market)

# Biowerkstoffe – aktuell

## Global production capacities of bioplastics 2021 (by material type)



<sup>1</sup>PEF is currently in development and predicted to be available at commercial scale in 2023. <sup>2</sup>Regenerated cellulose films

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021)

More information: [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

Knowledge-Base:  
Bio-Werkstoffe als  
Substitution für  
konventionelle Werkstoffe



# Knowledge-Base: Bio-Werkstoffe als Substitution für konventionelle Werkstoffe

verfügbare & sinnvolle Werkstoffe

Herkunft und Gewinnung, Verarbeitung, Eigenschaften, End-of-Life

Beispiele

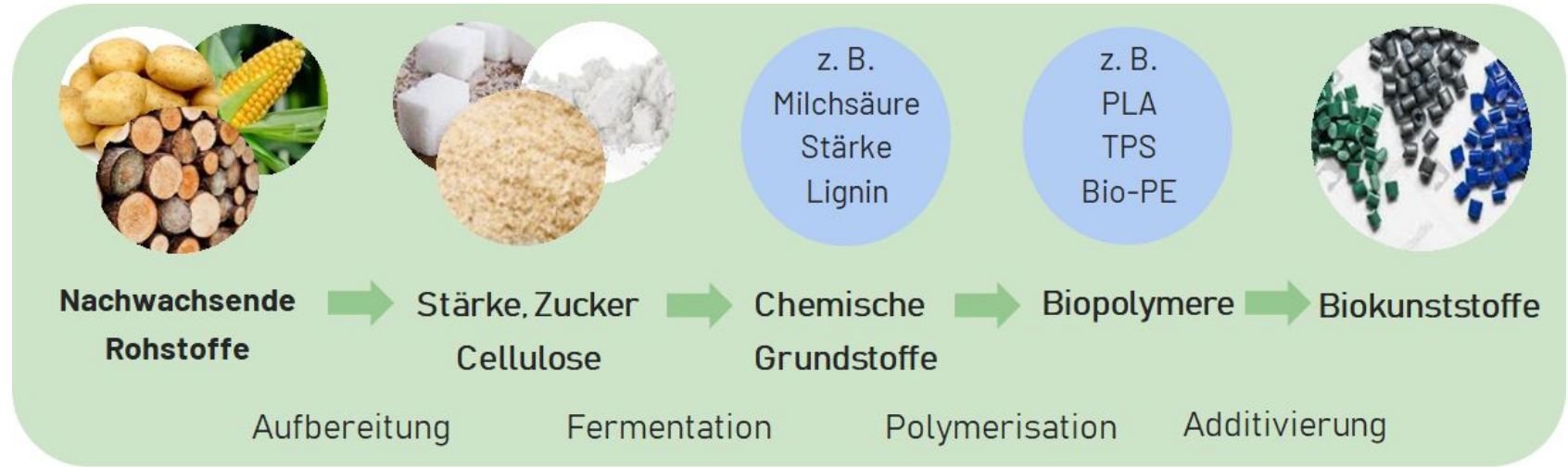
**PLA, PBAT, PBS, Stärke & Stärkecompounds** ← Viele Infos

**Cellulosederivate, Drop-Ins** ← eher knappe Infos

**Compounds, Lignin** ← viele Infos denkbar



# Bio-Kunststoffe



Biokunststoff = Biopolymer + Bioadditive

# Bio-Kunststoffe

## Flächen- und Wasserverbrauch

Biokunststoff	Sugar cane	Sugar beet	Corn	Potato	Wheat
PLA	0.16 ha	0.18 ha	0.37 ha	0.44 ha	1.04 ha
	2 370 m <sup>3</sup>	1 215 m <sup>3</sup>	2 921 m <sup>3</sup>	2 659 m <sup>3</sup>	6 468 m <sup>3</sup>
PHB	0.30 ha	0.31 ha	0.69 ha	0.81 ha	1.88 ha
	4 610 m <sup>3</sup>	2 364 m <sup>3</sup>	5 655 m <sup>3</sup>	5 168 m <sup>3</sup>	12 867 m <sup>3</sup>
Bio-PE	0.46 ha	0.47 ha	1.06 ha	1.24 ha	2.88 ha
	7 031 m <sup>3</sup>	3 605 m <sup>3</sup>	8 642 m <sup>3</sup>	7 899 m <sup>3</sup>	19 663 m <sup>3</sup>
Bio-PET	0.30 ha	0.31 ha	0.68 ha	0.80 ha	1.86 ha
	4 547 m <sup>3</sup>	2 331 m <sup>3</sup>	5 604 m <sup>3</sup>	5 122 m <sup>3</sup>	12 751 m <sup>3</sup>
TPS			0.16 ha	0.19 ha	0.44 ha
			1 309 m <sup>3</sup>	1 197 m <sup>3</sup>	2 979 m <sup>3</sup>

	land use for 1 t of resulting polymer
	water usage for feedstock/crop amount

Quelle: ifBB Biopolymers, facts and statistics 2018, modifiziert

→ Nachhaltigkeit ist von den Rohstoffpflanzen abhängig  
→ LCA zur umfänglichen Bewertung!

# Bio-Kunststoffe

Produktionskapazität  
t/a

Preis  
€/kg

Lab Scale

5 – 12

< 15.000

< 150.000

< 800.000

Industrial Scale

1 – 5

petrochemisch

biobasiert

Morphologie:

amorph

teilkristallin

Kompostierbarkeit:

\* DIN 13432 \*\* Haus \*\*\* Meer

Bio-PUR

Bio-TPE

PEF

Stärkeblends

Bio-PA10.10

Bio-PA6.10

Bio-PA11

PBAT \*

Cellulose \*\*\*

PBS \*

PHB \*\*\*

PHA \*\*\*

Bio-PPT

Bio-PE

PCL \*\*

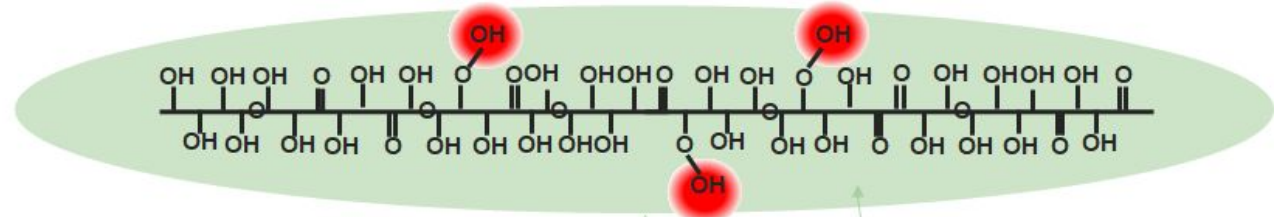
Bio-PET

PLA \*

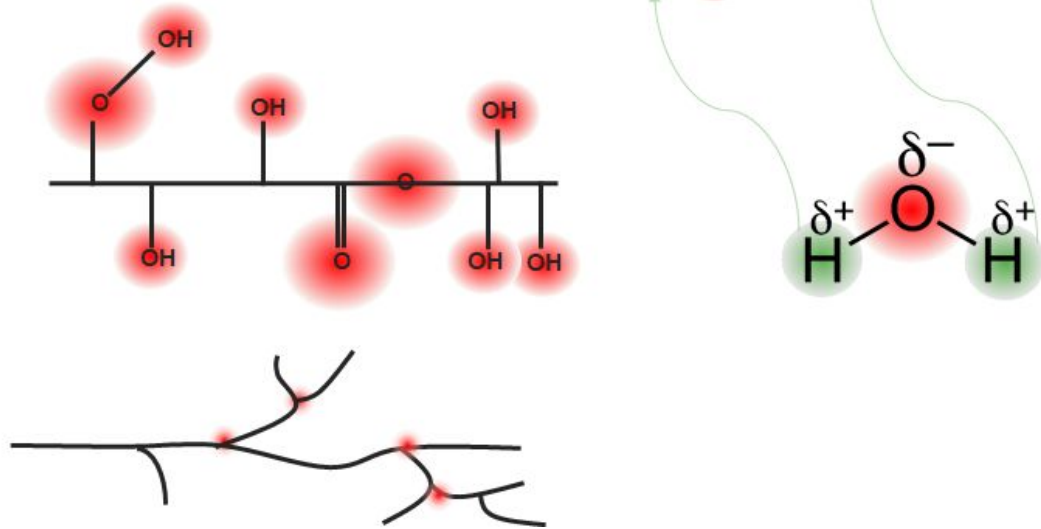
TPS \*\*

# Bio-Kunststoffe

Biokunststoffe:

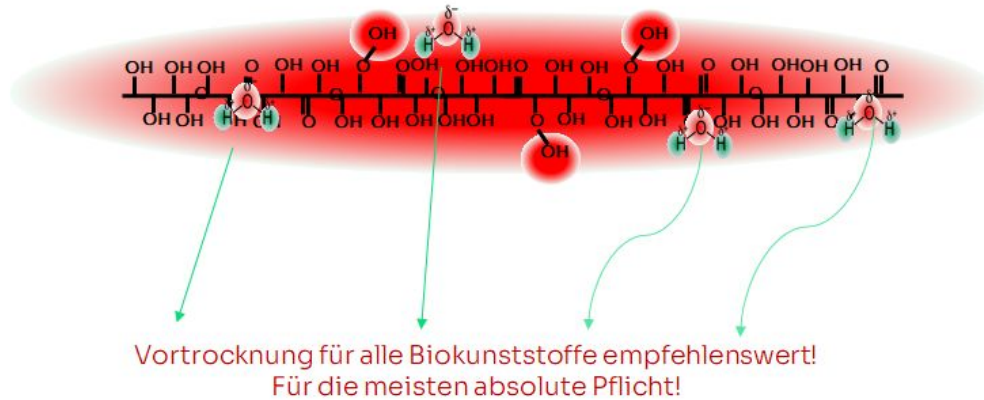


Konventionelle  
Kunststoffe:



# Bio-Kunststoffe

Anpassung der Prozesse für Verarbeitung von Biokunststoffen: VORTROCKNUNG



Ohne Vortrocknung:

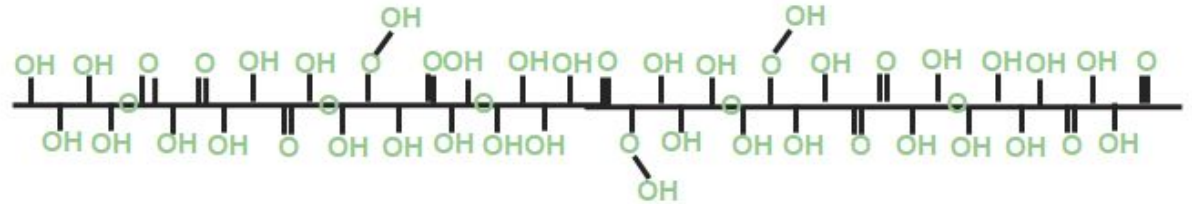
- Beförderung des Kettenabbaus durch Hydrolyse
- Erzeugung von Vakuolen/Gasblasen
- Prozessabbrüche durch freiwerdendes Gas

	Zeit [h]	Temp [°C]	Verarbeitung ab [%]
ALLGEMEIN	2 – 6	60 – 100	ab < 0,1
CA	2 – 4	60	< 0,15
PLA	6	80	-
Bio-PA	4 – 6	80	< 0,05
PHBV	2	100	< 0,025

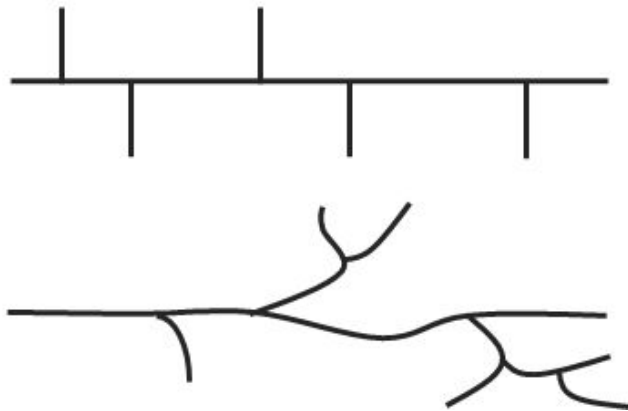
# Bio-Kunststoffe



Biokunststoffe:

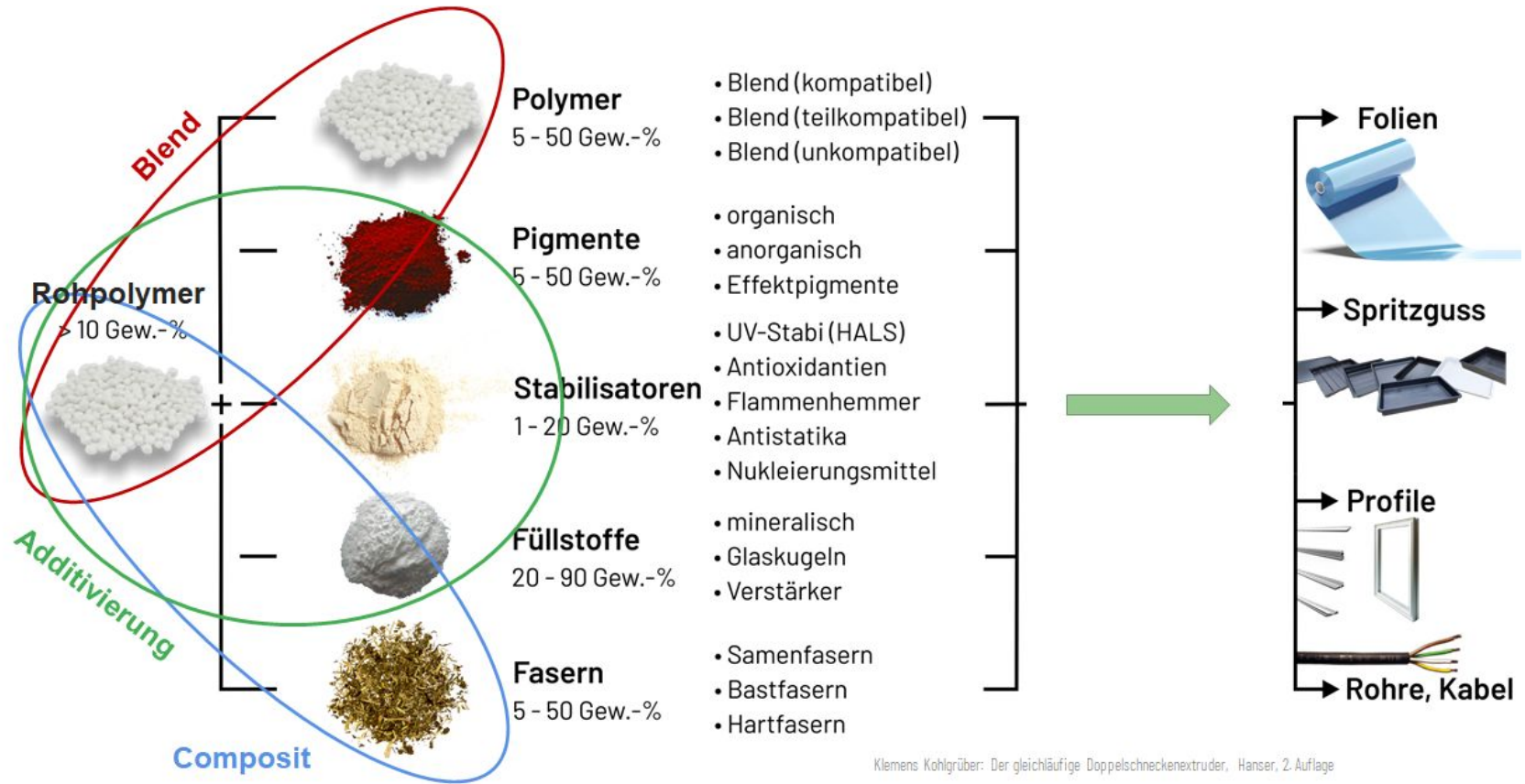


Konventionelle  
Kunststoffe:





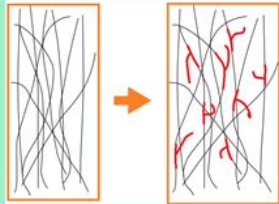
# Bio-Kunststoffe



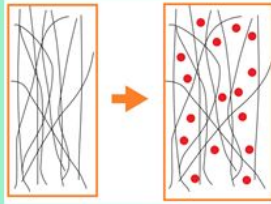
# Bio-Kunststoffe

## WEICHMACHER

Innere Weichmacher



Äußere Weichmacher



- PEG, PPG, PCL
- Glycerol, Sorbitol
- Citrate
- Öle (Sojabohnenöl, Cardanol)

## VERSTÄRKUNGSTOFFE

Bio-Verbundwerkstoffe

Kurzfasern < 4 mm



- Holzmahlgut
- Hanfmahlgut
- Flachsmahlgut
- PLA- und Viskosefasern

Langfasern > 4 mm



Gelege und Gewebe

- Hanffaser
- Flachsfaser
- PLA- und Viskosefaser

## Nanofüllstoffe

- Schichtsilikate
- Cellulosewhisker
- Nanowhisker
- CNTs

## PROZESSHILFSSTOFFE

VINNEX – Wacker Chemie AG  
**Kompatibilisierer**

Biostrength® – Arkema  
**Schlagzähmodifizierung**  
**Schmelzefestigkeit**

Makromelt – Henkel  
**Haftvermittler Faser, Füllstoff**

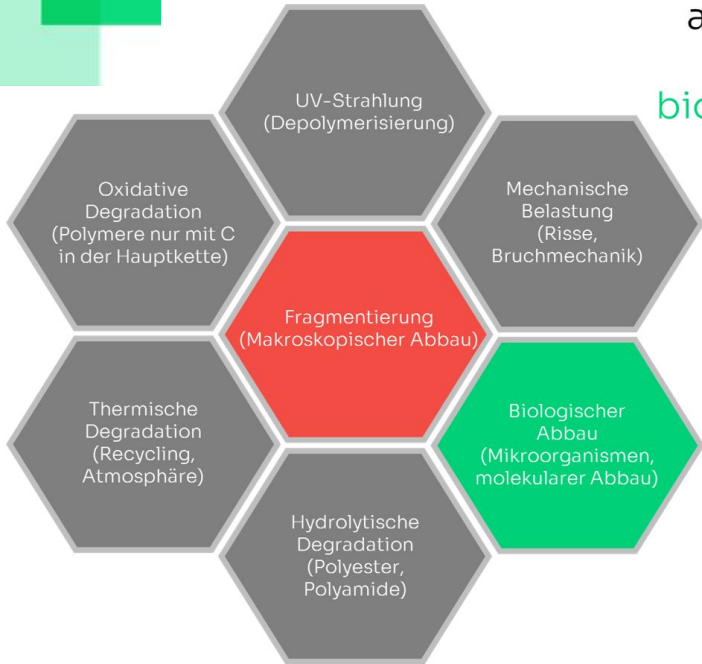
## FARBSTOFFE

Masterbatch  
Flüssigfarbstoffe  
Pulver

## SCHUTZADDITIVE

Lignin, Apfelwurzel, Trauben- oder Rosmarinextrakt  
**UV-Stabilisator**

# Bio-Kunststoffe



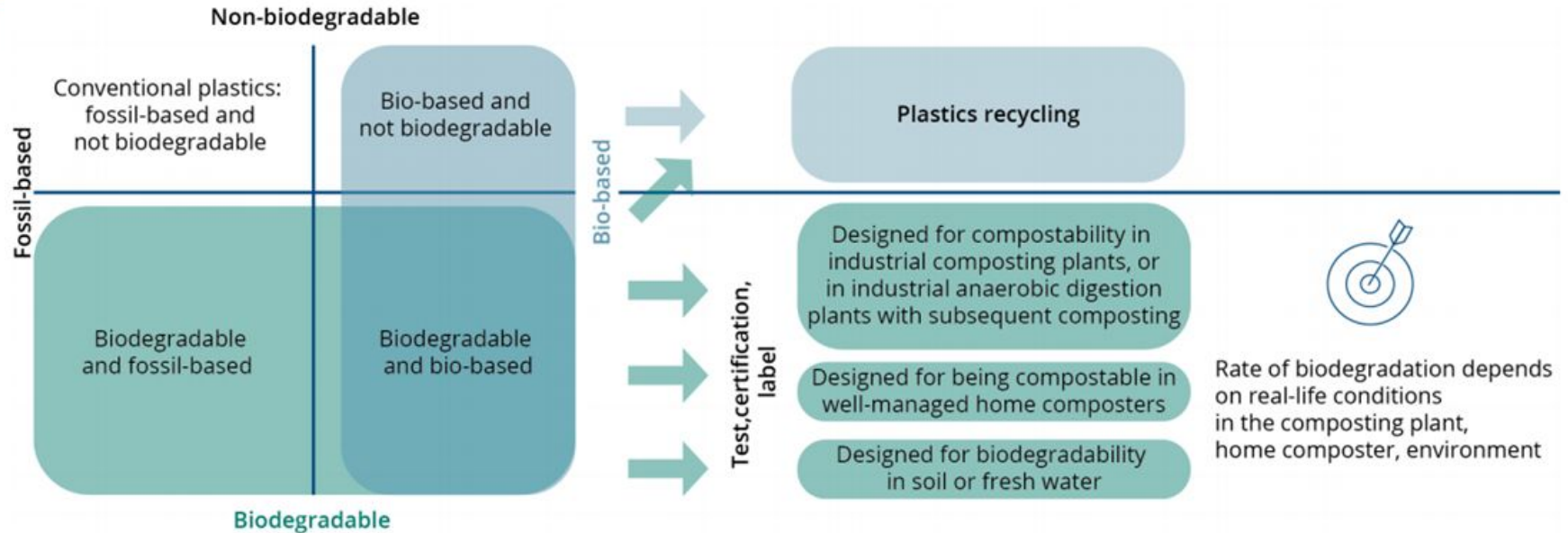
abbaubar  
≠  
bioabbaubar

Biokunststoff ≠ kurzlebig

bioabbaubar ≠ kompostierbar

Dauer: ca. 3 Monate Temp.: 50 – 60 °C		<ul style="list-style-type: none"><li>• CO<sub>2</sub> basiertes PPC</li><li>• PEG</li><li>• PLA and PLA-Blends</li></ul>	DIN EN 13432 (EU)	
Dauer: 12 Monate Temp.: < 35 °C		<ul style="list-style-type: none"><li>• PBAT + PBAT-Blends</li><li>• PBS + PBS-Blends</li><li>• Chitin, Chitosan</li><li>• Lignin</li></ul>		
Dauer: min. 1 Monat Temp.: < 35 °C				
Dauer: 6 – 12 Monate Temp.: < 35 °C		<ul style="list-style-type: none"><li>• PHA, PHB</li><li>• Proteine: Casein, Gluten, Wolle</li><li>• Stärke: Stärke/PCL, TPS</li><li>• Cellulose</li></ul>	Meer	
			Süßwasser	
			Hauskompostierbar	
			Industrie-kompostierbar	

# Bio-Kunststoffe



# Bio-Kunststoffe



Europäische  
Norm EN 13432



Heim-Kompostierung



Bioabbaubarkeit  
im Boden



Amerikanischer  
Standard ASTM 6400



Europäische Norm EN 13432  
Australischer Standard  
AS 4736



Italianische  
Zertifizierung CIC



Japanische Norm  
GreenPla



Kanadischer Standard  
CAN/BNQ 0017-088



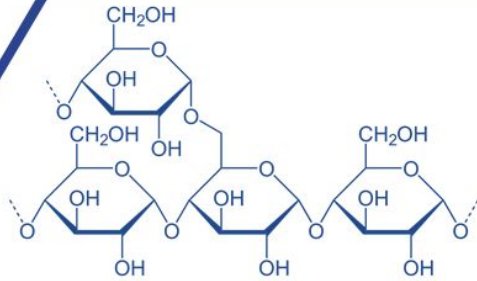
- **Cellulosederivate CA, CN, CB, CP, CAB, CAP u.w.**
  - bio-basierter Rohstoff: Cellulose
  - bio-basierter Anteil vom Acetylierungsgrad (DS) und vom verwendeten Weichmacher abhängig
- **Thermoplastische Stärke TPS**
  - bio-basierter Rohstoff: Stärke
  - bio-basierter Anteil vom verwendeten Weichmacher abhängig



# Bio-Kunststoffe

## Thermoplastische Stärke (TPS)

1-3  
€/kg



$T_g: -20 - 43\text{ °C}$

$T_m: 130-180\text{ °C}$

$\rho: 1,5\text{ g/cm}^3$

- Verarbeitung nur mit Weichmachern möglich
- mech. Eigenschaften sehr stark abhängig vom Weichmacher
- polar (stark hydrophil)
- kompostierbar nach DIN EN 13432 + Lebensmittelzulassung

Rohstoff

Destrukturierung von pflanzlichen Stärkekörnern

Verarbeitung

Vortrocknung nötig! Verkleisterung bei Hitze! Spitzguss + Castfolie + Blasfolie -

Substituent für

Füll- oder Verstärkungsstoffe

Blends

PBAT/TPS, TPS/Bio-PE, PLA/TPS

- schlecht bis mäßig  
++ gut bis sehr gut

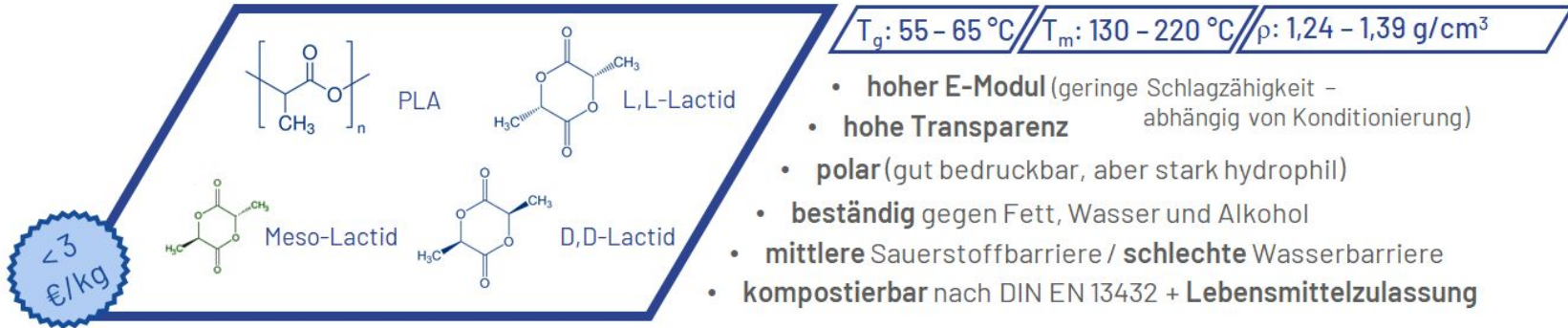


## Technische-Biokunststoffe

- **PLA (Polymilchsäure)** bio-basierter Rohstoff: L-, D- und Meso-Lactid
- **PHB (Polyhydroxybutyrat)** bio-basierte Rohstoffe: Fermentativ aus Stärke, Zucker u.w.
- **PBS (Polybutylensuccinat)** bio-basierter Rohstoff: Bernsteinsäure
- **PBAT (Polybutylenadipat-terephthalat)** fossil-basierte Rohstoffe: Terephthalsäure, Adipinsäure, 1-4 Butandiol
- **PCL (Poly- $\epsilon$ -caprolacton )** fossil-basierter Rohstoff: Caprolacton
- **PVOH (Polyvinylalkohole)** fossil-basierter Rohstoff: Vinylacetat
- **PEF (Polyethylenfuranoat)** bio-basierter Rohstoff: 2,5-Furandicarbonsäure und Ethylenglycol

# Bio-Kunststoffe

## Polylactid Acid (PLA)



<3  
€/kg

Rohstoff

L- oder D-Milchsäure (Fermentation) → L- oder D-Lactid

Verarbeitung

Vortrocknung | kurze Verweilzeit | siegelbar | Spitzguss + Castfolie + Blasfolie -

Substituent für

PS

Trübung beim Recycling

4-7  
€/kg

Blends

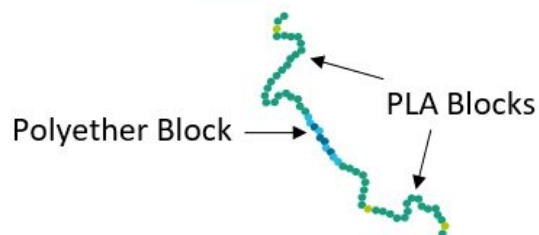
Ecovio®, Bio-Flex®, TPS, PCL, Vinnex (Weichmacher)

- schlecht bis mäßig  
++ gut bis sehr gut

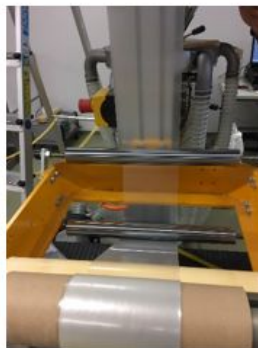
# Bio-Kunststoffe

## Internally plasticized PLA

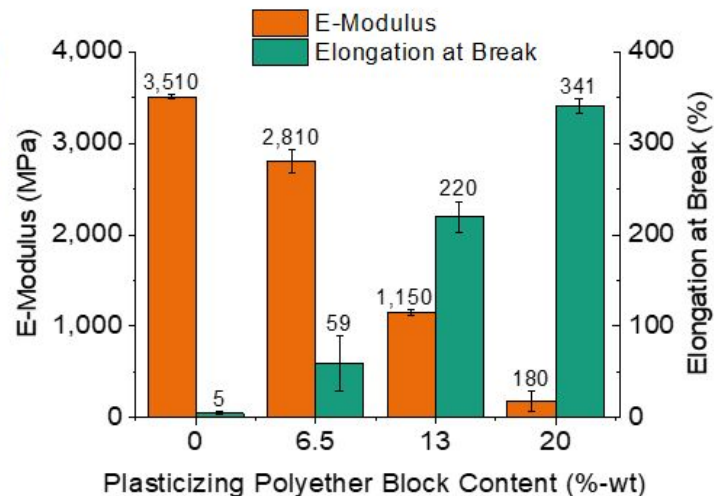
as a more sustainable substitute for LDPE flexible blown film



- ✓ **1-pot, bulk synthesis**
- ✓ **High biobased content** (80-95 %-wt PLA)
- ✓ **Good processability** (MFI<sup>1</sup> = 2-30 g/10min)
- ✓ **Good & stable mechanical properties for blown film applications** (covalently bonded plasticizer)



## Mechanical Properties<sup>2</sup>



<sup>1</sup> T=160 °C, 2.16 kg

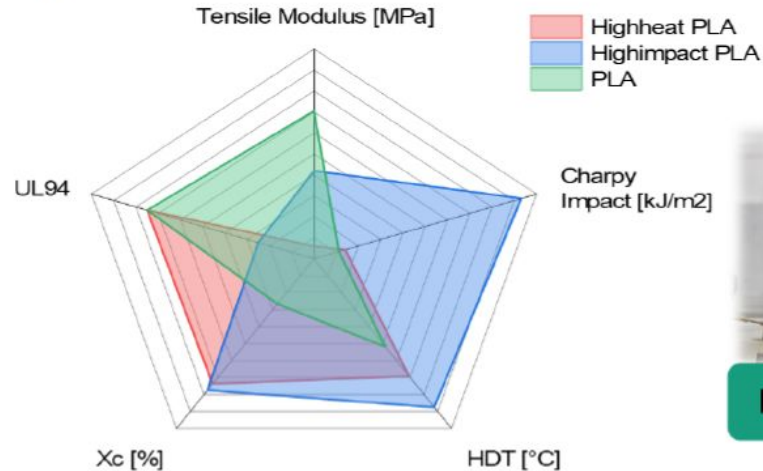
<sup>2</sup> Injection molded DIN EN ISO 527-2 type 5A samples

# Bio-Kunststoffe

PLA with modified properties:



Flame-Retardent



Impact-Resistance



Heat-Resistance



# Bio-Kunststoffe

## Polybutylensuccinat (PBS)



Rohstoff

Bernsteinsäure (Fermentation) und 1,4 Butandiol

Verarbeitung

Spitzguss | Blasfolienextrusion | Oberflächenbeschichtung

Substituent für

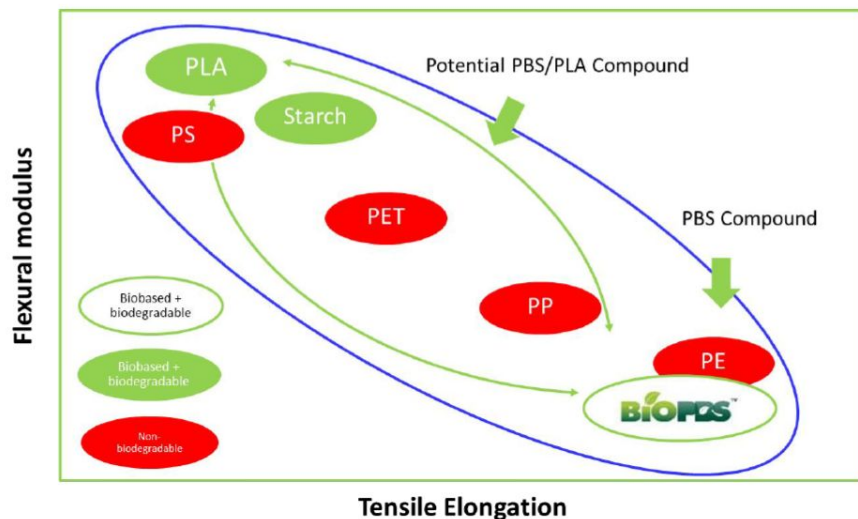
PE-LD, PP

Blends

Bio-Flex®

# Bio-Kunststoffe

## Importance of Biopolymers – BioPBS™



Flexible
Higher
Faster
High
Lower
Lower
Translucent

Flexibility
Impact strength
Biodegradability*
Heat resistance
Process temp
Heat-seal temp.
Transparency

## PLA

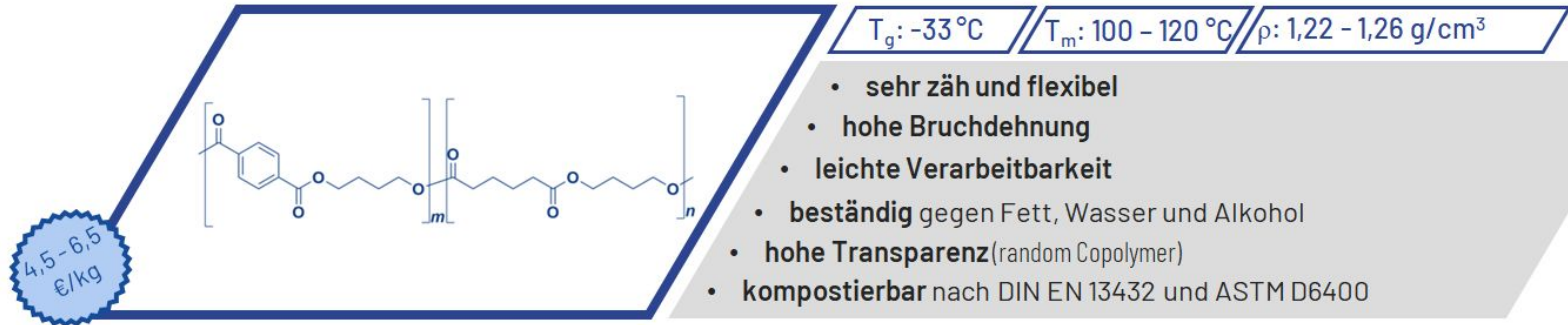
Rigid
Lower
Slower
Lower
Higher
Higher
Transparent

\* in soil at 30°C (86°F), 50%RH



# Bio-Kunststoffe

## Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT)



Rohstoff

Polyaddition von Terephthalsäure mit Adipinsäure und 1,4-Butandiol

Verarbeitung

Blasfolienextrusion | Oberflächenbeschichtung

Substituent für

PE-LD

Blends

Ecovio®, Ecowill®

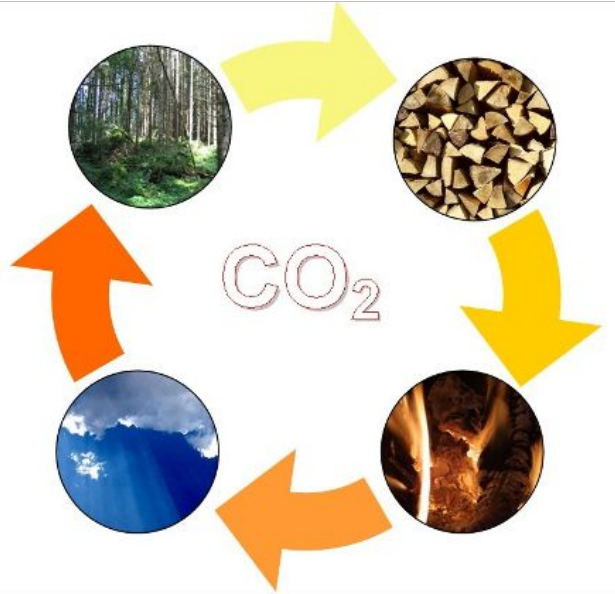
# Sustainability durch Bio-Werkstoffe?

Vorstellung von Ansätzen zur Bewertung der Nachhaltigkeit,  
Methoden, Aspekte die zu Nachhaltigkeit führen und umgekehrt

# Biokunststoffe sind...



- CO<sub>2</sub> neutral



- Wie neutral ist CO<sub>2</sub> neutral?

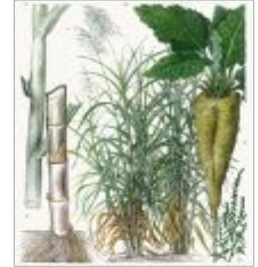
# Biokunststoffe sind...

- Nachwachsend
- 100% green made, erdölfrei
- Kompostierbar, abbaubar



# Biokunststoffe

Vom Anbau bis zur Entsorgung...



Aus Baumwolle und Holz:  
z.B. Celluloseacetat



Aus stärkehaltigen Pflanzen:  
z.B. PLA, Stärkeblends

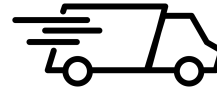


Aus zuckerhaltigen Pfl:  
z.B. Bio-PE, Bio-PET



# Biokunststoffe

Vom Anbau bis zur Entsorgung...



# Biokunststoffe

## Vom Anbau bis zur Entsorgung...

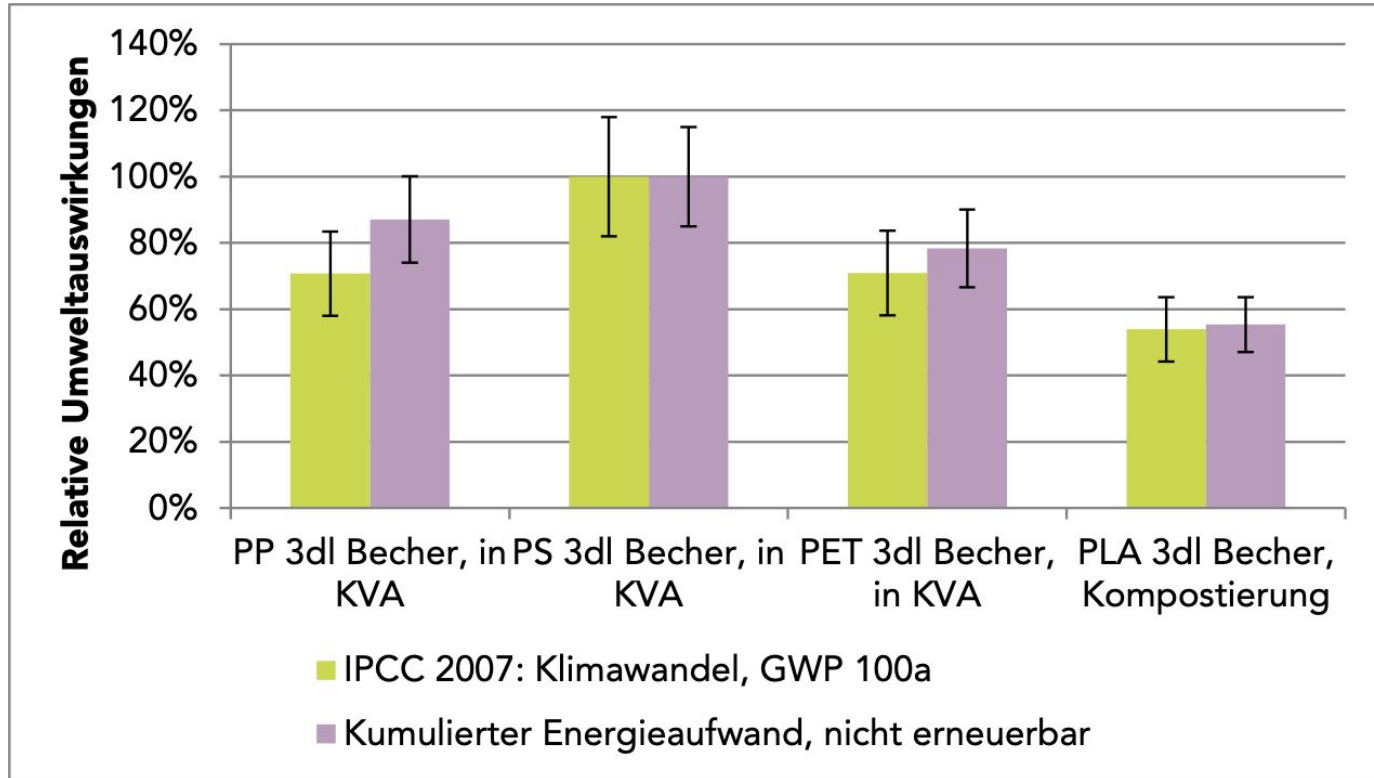
**Der landwirtschaftliche Anbau** wie auch die Herstellung der Kunststoffe benötigt Energie und Hilfsstoffe, wie Dünger, Pflanzenbehandlungsmittel, Maschineneinsatz oder Transporte. Diese benötigen im Allgemeinen **fossile Ressourcen**. Daher sind sie per se nicht vollständig CO<sub>2</sub> neutral oder vollständig nachwachsend.

Es stellen sich somit Fragen wie z.B.:

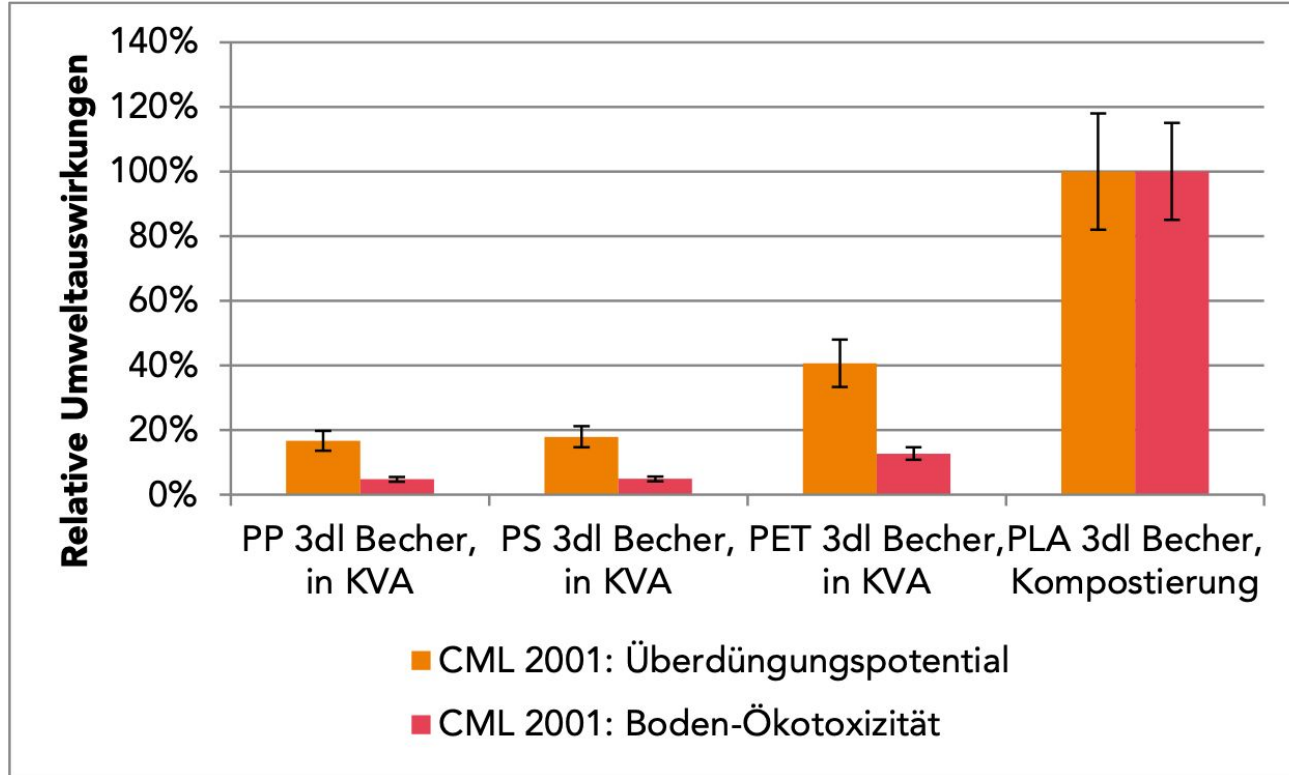
- Wie hoch ist die Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen?
- Wie viel fossile Ressourcen werden benötigt?

Um diese Fragen zu beantworten, ist die Betrachtung des **gesamten Lebensweges** notwendig.

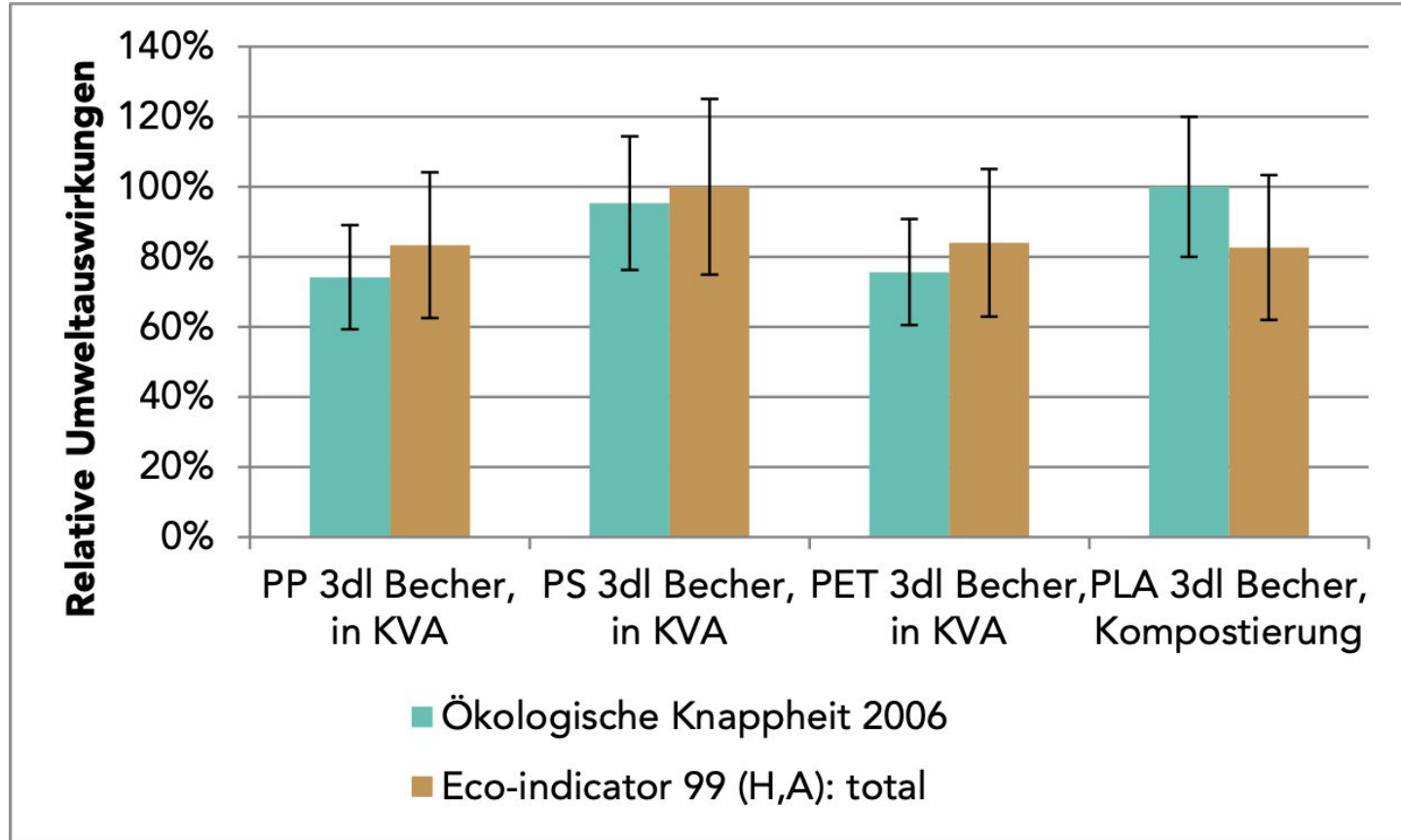




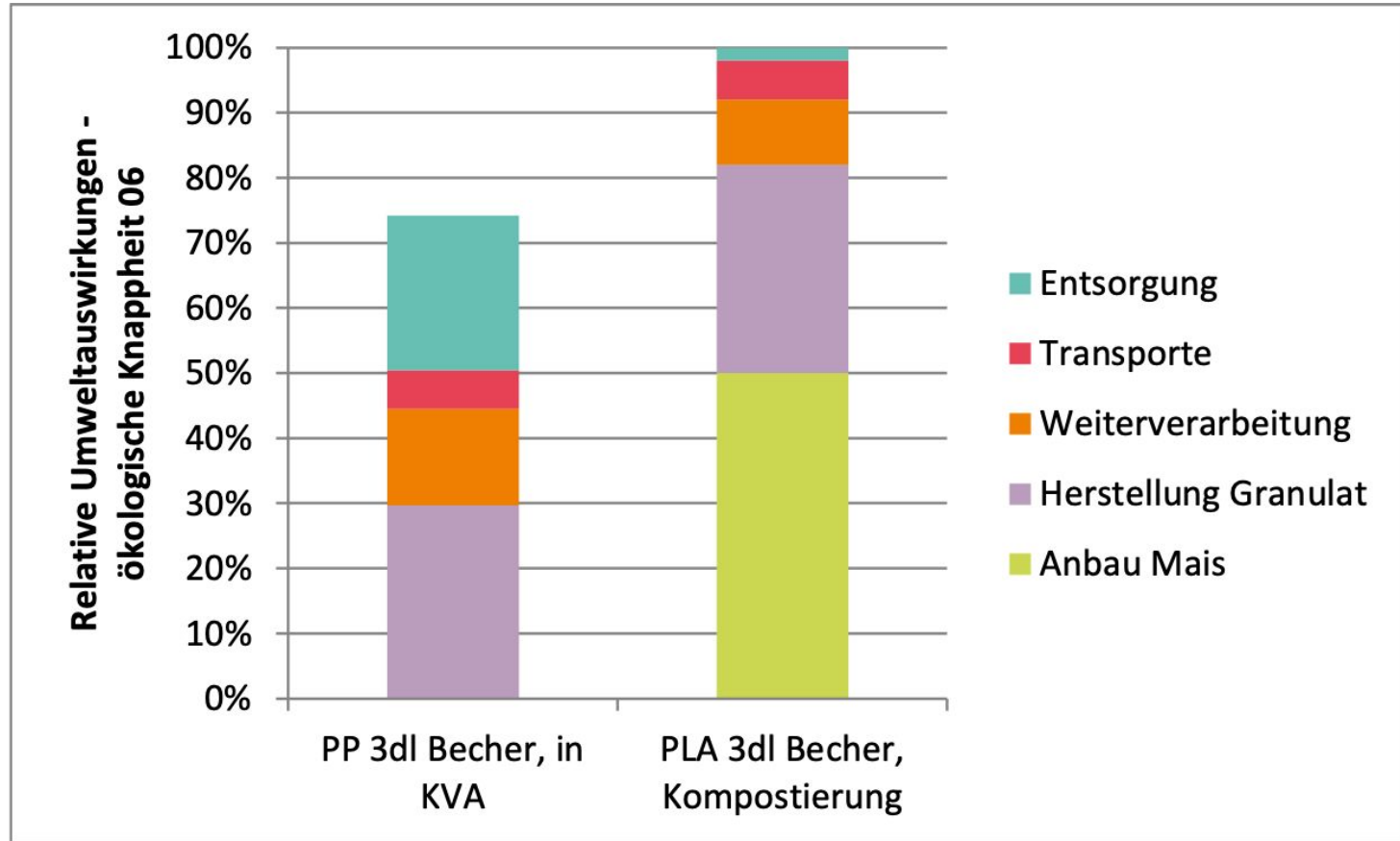
# Überdüngung und Versauerung



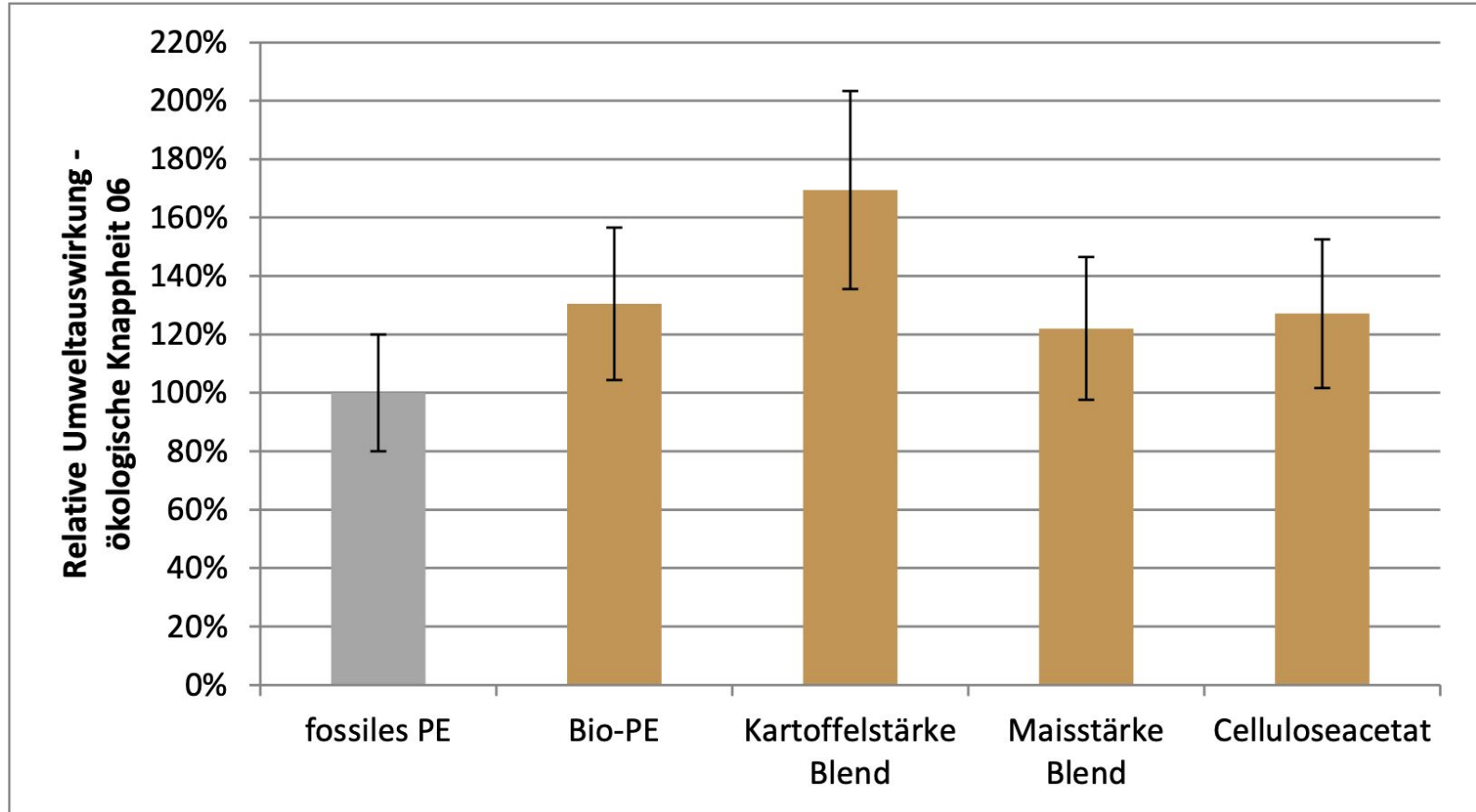
# Gesamtumweltbelastung



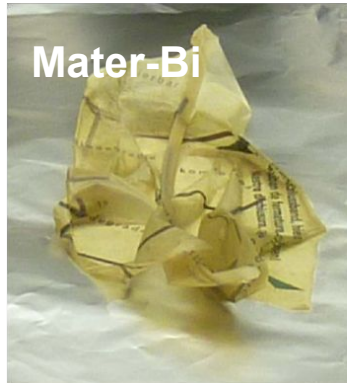
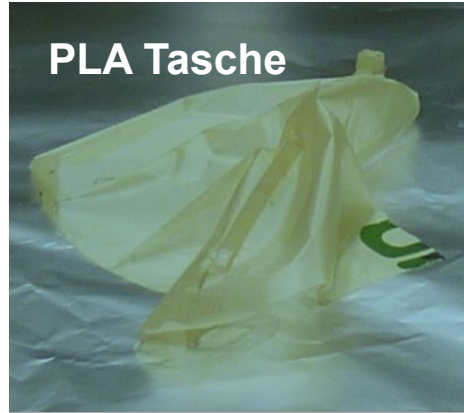
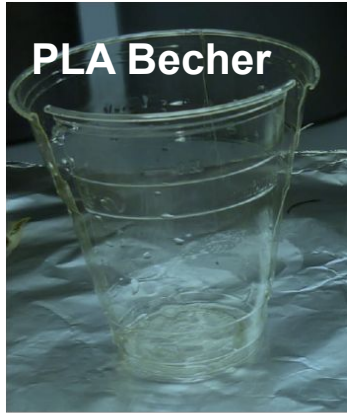
# Woher kommt die Umweltbelastung?



## weitere biobasierte Kunststoffe



## Abbaubarkeit von Biokunststoffen



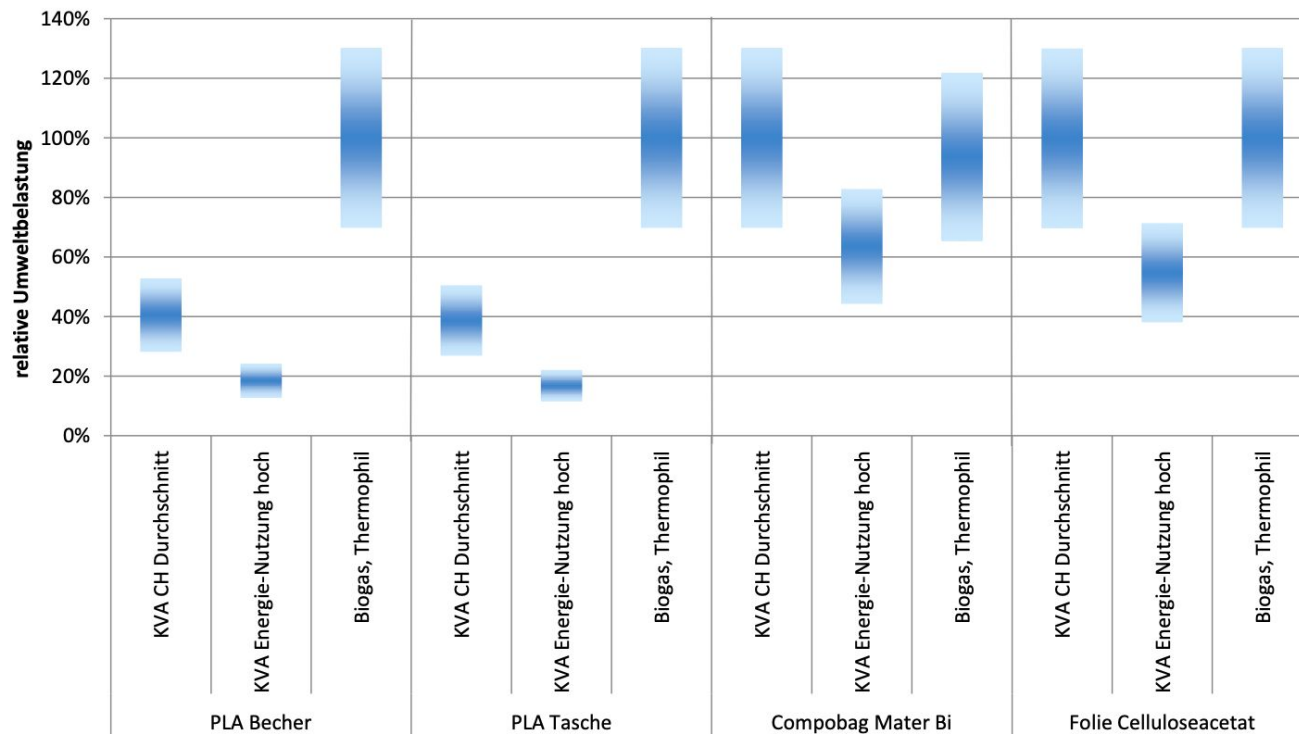
Biokunststoff-Stücke  
nach 6-wöchiger  
anaeroben Vergärung

## Abbaubarkeit von Biokunststoffen

<b>BAW</b>	<b>Abbaugrad nach 14 Tagen (55°C)</b>	<b>Abbaugrad nach 21 Tagen (37°C)</b>	<b>NL Methanertrag / kg FM nach 14 Tagen (55° C)</b>	<b>NL Methanertrag / kg FM nach 21 Tagen (37° C)</b>
Celluloseacetat Folie	82%	74%	356	292
Mater Bi Beutel	58%	6.0%	368	40
PLA Becher	4.4%	0.0%	26	0
PLA Tasche	3.2%	0.8%	22	5
Kartonbecher BAW beschichtet	76%	74%	360	372



**Relative Umweltbelastung  
der Verbrennung (linker und mittlerer Balken) vs. Vergärung (rechter Balken)  
von einzelnen BAW-Produkten**



# Ökobilanz: Abbaubarkeit

Die betrachteten Biokunststoffe sind...

**zwar:**

- Meistens abbaubar (ausser Bio-PE, Bio-PET etc.)

**aber:**

- Die Abbaubarkeit ergibt praktisch keinen zusätzlichen Nutzen im Entsorgungspfad «Vergärung» oder «Kompostierung»
- Die Entsorgung in einer KVA ist zumindest gleich gut oder sogar besser als die Entsorgung in einer Biogasanlage oder die Kompostierung

## Die betrachteten Biokunststoffe sind...

### **zwar:**

- Aus nachwachsenden Ressourcen (biobasierte Kunststoffe)
- Meistens ein wenig klimafreundlicher als fossile Kunststoffe
- Sinnvoll wenn aus Abfall- oder Reststoffen produziert

### **aber:**

- nicht klimaneutral,
- nie frei von fossilen Ressourcen,
- nicht ökologischer als fossile Kunststoffe, wenn sie aus landwirtschaftlich angebauten Rohstoffen bestehen

## In Ökobilanzen (noch) nicht berücksichtigt:



- Ethische Aspekte wie Nahrungsmittelkonkurrenz
- Allfällige Qualitätsprobleme bei Durchmischung im Kunststoffrecycling
- Gewisse Umweltaspekte wie Bodenfruchtbarkeit oder Meeresverschmutzung durch Plastik
- Endlichkeit fossiler Ressourcen

**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!**

Mischa Zschokke

[m.zschokke@carbotech.ch](mailto:m.zschokke@carbotech.ch)

T +41 44 444 20 15 [www.carbotech.ch](http://www.carbotech.ch)